

地震時土圧波形による建築構造物への入力地震動評価に関する研究

著者	藤森 健史
号	1465
発行年	1993
URL	http://hdl.handle.net/10097/10272

氏 名	藤 森 健 史
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学 位 授 与 年 月 日	平 成 6 年 2 月 9 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 61 年 3 月 東北大学大学院工学研究科建築学専攻前期課程修了
学 位 論 文 題 目	地震時土圧波形による建築構造物への入力地震動評価に 関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 柴田 明德 東北大学教授 和泉 正哲 東北大学教授 杉村 義広

論 文 内 容 要 旨

建築構造物の地震応答解析を行なう際、入力地震動を適切に評価することが、先ず重要となるが、来たるべき地震動の大きさや性質を正確に把握することは、現状では容易でない。そのため、耐震設計においては、所定の期間内にその建築構造物がうけるであろう最大級の地震力とそのサイトにおける地盤特性等より考えられる地震動特性により想定された入力地震動を設定することになる。このように設定された地震動を構造物モデルに入力する際、構造物基礎が地中に埋め込まれてなく、また、鉛直下方から到来するような性質を有する地震動であったならば、自由地表面における地震動をそのまま入力地震動として用いればよい。しかしながら、基礎が地中に埋め込まれていたり、地震波が斜めに到来していたり、表面波成分が卓越していたりすると、実際に構造物基礎部分に入力されるべき地震動と自由地表面における地震動は同じにならない。このため、実際に構造物基礎部分に入力される地震動は有効入力地震動と呼ばれる。スウェイロッキングモデル等による地震応答解析においては、入力地震動として、常に、この有効入力地震動が用いられるべきであるが、基本的な地震応答解析においては、通常、地震波の斜め入斜や表面波成分を考慮しないこと、根入れ長の浅い基礎や相対的に小さな基礎においては、有効入力地震動と地表面地震動の差が小さいことから、設計においては、積極的には用いられていない。しかしながら、近年においては、根入れ長の深い構造物や長大な構造物が増加する傾向にあり、このような有効入力地震動を積極的に評価する必要が生じている。

一方、ここで、地震力を外力とした場合、基礎に作用する地震時土圧を地震力として評価できないかということを考える。地震時土圧が地震外力として評価され、さらに、その際の地表面地震動

との関係が明らかになれば、より直接的な地震入力評価法として、有用となろう。しかしながら、地震時土圧の性質や発生機構は必ずしも明らかになっておらず、観測記録を踏まえた検討が行われる必要がある。

以上のような背景を踏まえて本論文では、はじめに、観測された地震時土圧を基礎－構造物系の基本運動方程式の中に定式化し、地震時土圧を用いて、有効入力地震動、特に、入力損失効果を評価する方法を示した。また、観測された地震時土圧波形の特性を検討することにより、ここに示した地震時土圧による入力損失効果の評価方法において仮定した地震時土圧の性質の妥当性や地震時土圧特性と地震動特性あるいは地震波の基礎入力特性との関係等について考察した。さらに、その方法を観測記録に適用し、実際に観測された地震時土圧波形から入力損失効果を算定することにより有効入力地震動の評価を行った。その際、既往の手法による結果とも比較検討し、本手法の妥当性を確認した。最後に、それら地震時土圧波形より求めた有効入力地震動を用いて、構造物地震応答のシミュレーション解析を行い本手法の適応性を確認した。その際、観測結果との比較のみならず、他の解析手法による結果とも比較検討することで、本手法による結果の傾向について考察した。本論文の構成は以下に述べるとおりである。

第1章では、本論文における研究の目的、本論文の構成および本論文に関連する既往の研究内容についてまとめている。

第2章では、地震時土圧と構造物基礎における地震動の入力損失効果との関係を定式化し、構造物基礎面において観測された地震時土圧を用いて、実存する構造物の基礎位置においては観測的に定めにくい自由地盤変位を用いることなく、直接的に入力損失量を算定する方法を示している。地震時土圧と入力損失効果の関係の定式化に際しては、地震時土圧を構造物基礎と自由地盤間の相対変位に動的地盤ばねを介して作用すると定義し、その仮定が妥当なものであることを第3章で地震時土圧の基本的な特性を検討することにより確認している。

第3章では、第2章で示した手法を観測記録に適用して実際に入力損失効果や有効入力地震動を算定するのに先だって、観測された地震時土圧の特性等を検討し、第2章で示した手法の観測された地震時土圧波形に対する適用性等について考察している。

はじめに、第2章における‘地震時土圧は構造物基礎と自由地盤間の相対変位に動的地盤ばねを介して作用する’という仮定が妥当であるかどうかの検討を基礎－建屋模型とその周辺地盤における観測記録を用いて行なっている。その結果、規準化した地震時土圧波形と埋め戻し土－構造物基礎間相対波形が、概ね、同振幅同位相であることから、地震時土圧が埋め戻し土－構造物基礎間相対変位にその間の動的地盤ばねを介して作用するとし、さらに、動的地盤ばねが構造物基礎と無限遠の地盤間に作用するものと考えれば、埋め戻し土－構造物基礎間相対変位を自由地盤－構造物基礎間相対変位に拡張して前述の仮定が成り立つとしている。

次に、基礎側壁に作用する地震時土圧波形の一般的な傾向として、地表面付近の土圧振幅がやや小さくなる傾向があること、基礎前背面間の地震時土圧波形は、必ずしも、逆位相になっていないこと、地震時土圧波形のスペクトルは、地表面付近においては地盤－構造物連成系の卓越振動数が、基礎底面付近においては地盤の卓越振動数が、それぞれ卓越する傾向があること等を示して

いる。また、基礎の両端部分の地震時土圧波形のスペクトルに比べ、基礎中央部分のそれは、振幅がやや小さく、剛板分布的な傾向を示すことを確認している。さらに、基礎前背面間の地震時土圧位相は、地盤の固有振動数付近およびそれより長周期側において、同位相になる傾向があることを示している。

さらに、これら地震時土圧特性と地震動特性の関係について検討した結果、基礎前背面に作用する地震時土圧が同位相になる傾向は基礎周辺埋め戻し土の非対称な動きにひとつは起因するとし、その要因のひとつとして短周期成分が卓越するような地震における表層地盤や埋め戻し土各点間の挙動の相関の低下を挙げている。もうひとつの要因として、実体波の斜め入射や表面波成分による地震波動伝播の地表面内水平方向位相差の影響についても検討し、地盤の固有周期付近およびそれより長周期の成分に関してはその影響が大きいことを示している。

また、地震時土圧特性、特に、地震時土圧位相が基礎の前背面で同位相になる傾向と基礎の立体的挙動の関係についても検討している。その内、基礎の捩れ振動と地震時土圧位相が基礎の前背面で同位相になる傾向との関連性について検討した結果、基礎前背面の地震時土圧位相が同位相になる傾向が目立った地震においては実体波の斜め入射等の影響によると思われる低振動数域や波動の相関の低下によると思われる高振動数域以外にも基礎前背面の地震時土圧位相差が 0° 近くになっている振動数域が存在することを示している。その振動数域が捩れ振動の一次固有振動数と一致したことにより、基礎の捩れ振動と基礎前背面の地震時土圧位相が同位相になる傾向は関連性が高いと云う結論を得ている。

さらに、本論文で示している地震時土圧から入力損失量を算定する方法は、基礎周辺の埋め戻し土が線形範囲にあることを前提としていることから、各地震時における基礎周辺埋め戻し土のひずみレベルを検討し、埋め戻し土内における軸方向ひずみおよびせん断方向ひずみ波形の最大値が概ね 10^{-5} 程度のオーダーではほぼ線形範囲にあったことを確認している。

第4章では、本論文で示した観測された地震時土圧による入力損失効果の評価法を構造物基礎面において実際に観測された地震時土圧記録に適用して、入力損失量を算定し、有効入力地震動を評価している。また、この地震時土圧を用いて求めた入力損失効果の妥当性を確認するために、他の手法による結果との比較検討も行っている。そして、それら入力損失効果の特性と地震動特性の関係についても考察している。

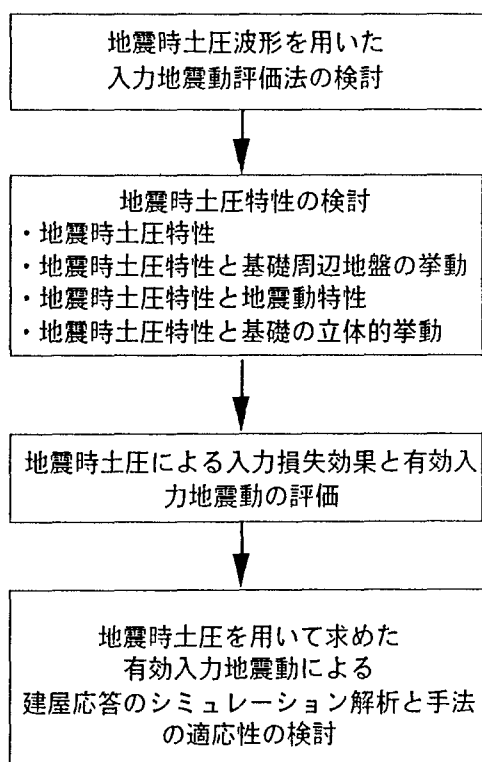
はじめに、地震時土圧を用いて算定した有効入力比を既往の手法による厳密解と比較した結果、それらの傾向が概ね一致することを確認している。また、地震時土圧を用いて算定した有効入力地震動 U^* を周辺地盤観測地震波のスペクトルと比較した結果、ある振動数付近より低振動数側では、周辺地盤地表面応答と有効入力地震動に差がなく、基礎幅もしくは埋め込み深さに対して5倍程度以上の波長の波動成分には入力損失の効果がほとんどないことを示している。

第5章では、本論文で示した方法により地震時土圧を用いて求めた有効入力地震動を用いて構造物模型における地震観測結果のシミュレーション解析を実施している。これは、本論文で示した構造物基礎に関する地震外力を直接的に表現できると考えられる地震時土圧波形を用いて構造物基礎における入力損失効果を評価する方法の妥当性を確認するために行ったものである。シミュレーシ

ョン解析においては、本手法の有効性を確認するために、観測結果との比較のみならず、その他の解析手法による結果とも比較検討を行なっている。比較の対象として用いた解析方法は、簡便な手法として、構造物モデルを動的地盤ばねを有する多質点一本棒の曲げせん断モデルとし、一次元波動論により求めた入力地震動を入力する方法と、できるだけ諸条件を考慮できる手法として、構造物モデルを多質点一本棒の曲げせん断モデル、地盤を2次元有限要素モデルとし、あらかじめ観測結果より算定した入射角で基盤レベルに実体波を入力する方法である。これらの解析においては、入力地震動の評価方法の差異が地震応答解析結果に与える影響を検討することを目的としているので、構造物模型のモデル化や動的地盤ばねは各解析ケースとも同様にした。また、解析に用いた地震は、基礎前背面の土圧位相が同位相になる等の現象が認められなかった標準的な地震と基礎前背面の土圧位相が同位相になる等の現象が認められた直下型の地震である。

地震時土圧波形を用いて求めた入力地震動による解析結果より、動土圧の評価が適切になされれば、本手法の適応性は十分あると云う結論を得ている。

第6章では、各章で得られた結果を要約し、結論を示している。



本論文の構成

審 査 結 果 の 要 旨

建築構造物の地震応答解析を行う場合，入力地震動を適切に評価することが重要となる。特に，地中に埋込部を持つ長大建築物の地震入力特性は複雑であり，その評価法はまだ確立されていない。

本論文は，埋込基礎面で多点観測された地震時土圧波形を用い，地震動の入力損失効果を算定して構造物への有効入力地震動を評価する方法を示し，自由地盤地震動と構造物への有効入力地震動との関係を明らかにしたもので，全6章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では，構造物基礎における地震時土圧と地震動の入力損失効果との関係を定式化し，基礎位置において観測することが困難な自由地盤変位を用いることなく，直接入力損失量を評価する手法を示している。定式化にあたっては，地震時土圧が構造物基礎と自由地盤の間の相対変位と動的地盤ばねにより表されるとし，この仮定の妥当性を第3章において実測結果により確認している。

第3章では，構造物－基礎模型および周辺地盤で観測された地震時土圧記録並びに地震加速度記録の解析から，定式化の諸仮定が成り立つことを示すとともに，地震時土圧の深さ分布や基礎前背面間の土圧の位相差について検討し，埋め込み基礎の地震時挙動の特性を明らかにしている。

また，地震時における基礎周辺の埋め戻し土の歪みレベルがほぼ線形範囲にあることを示し，定式化における線形性の仮定の妥当性を確認している。

第4章では，構造物基礎面において観測された地震時土圧記録に基づいて入力損失量を算定し，有効入力地震動を評価している。評価にあたっては，動的地盤ばねの値は構造物－基礎模型の強制振動実験結果に基づいて算定し，自由地盤地震動は周辺地盤地震動に等しいものと仮定している。有効入力地震動のスペクトルは， 3 Hz 付近より低振動数側では周辺地盤地震動のスペクトルと比べてあまり差がなく，入力損失効果がほとんど認められないが， 3 Hz から 10 Hz 付近ではかなりの差があり，20%から50%の大きな入力損失効果が認められること，また， 10 Hz から 20 Hz 付近では入力損失効果が小さくなることを示している。この結果より，基礎幅もしくは埋め込み深さに対して5倍程度以上の波長の波動成分に対しては入力損失の効果がほとんどないことを明らかにしている。

第5章では，地震時土圧から求めた有効入力地震動を用いて，構造物－基礎模型の地震応答観測結果のシミュレーション解析を行っている。また，周辺地盤を1次元成層せん断地盤および有限要素地盤でモデル化した場合の入力地震波を用いた解析結果と本論文の方法による解析結果を比較し，本方法の適用性を検証している。

第6章は結論である。

以上要するに，本論文は地震時土圧記録に基づいて構造物への入力損失効果を考慮した有効入力地震動の評価法を提示したもので，建築学及び地震工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって，本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。